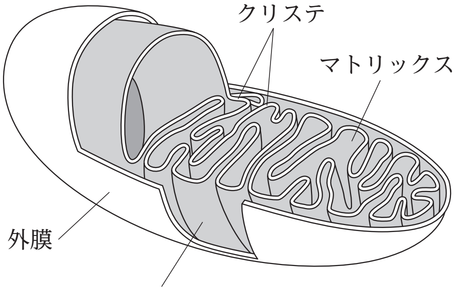
PART3　異化-呼吸

目標
・ミトコンドリアの構造を理解する。
・呼吸の大まかな過程を理解する。

Chapter1　ミトコンドリアと呼吸の概要

◆ ミトコンドリア

真核細胞に存在する細胞小器官であり，大きさは1～数μmになる。二重膜で包まれており，内膜の内側の空間を（　　　　　　　　），内膜がさらに内側に折れ込んだひだ状の構造を（　　　　　　）という。



◆ 呼吸の概要

呼吸は酸素を用いた異化であり，グルコースなどの呼吸基質が無機物にまで分解される過程で効率的にATPが合成される。

グルコースを基質とした呼吸は，（　　　　　），（　　　　　　　　），（　　　　　　）の3つの過程に分かれる。

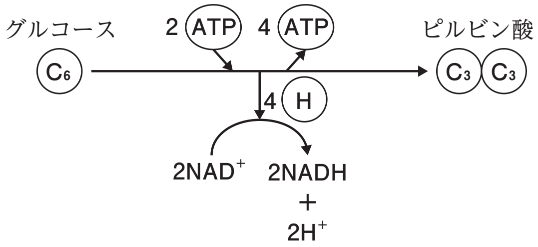
	解糖系	クエン酸回路	電子伝達系
場所	サイトゾル (細胞質基質)	ミトコンドリア マトリックス	ミトコンドリア 内膜
ATP合成量	正味2分子	2分子	最大34分子

全体の反応：$C_6H_{12}O_6$　＋　$6H_2O$　＋　$6O_2$　→　$6CO_2$　＋　$12H_2O$（＋　最大38ATP）

Chapter2　呼吸の過程：解糖系とクエン酸回路

◆ 解糖系

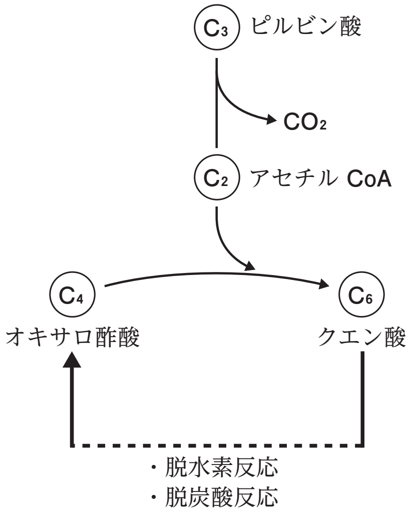
サイトゾルに存在する酵素によって，グルコースが C_3 化合物の（　　　　　　　）にまで分解され，その過程で ATP と還元型補酵素が生成される。



解糖系は乳酸発酵やアルコール発酵にも共通する，基本的な異化の過程である。

◆ クエン酸回路

ピルビン酸から生じた C_2 化合物の（　　　　　　　）と C_4 化合物のオキサロ酢酸が結合して，C_6 化合物のクエン酸が生じる。その後，二酸化炭素や ATP，還元型補酵素が生じる反応を経て，再びオキサロ酢酸が生成されるため，反応が回路状になっている。



1分子のピルビン酸に対して，

3分子の二酸化炭素，
1分子の ATP,
4分子の NADH,
1分子の $FADH_2$
が生じる。

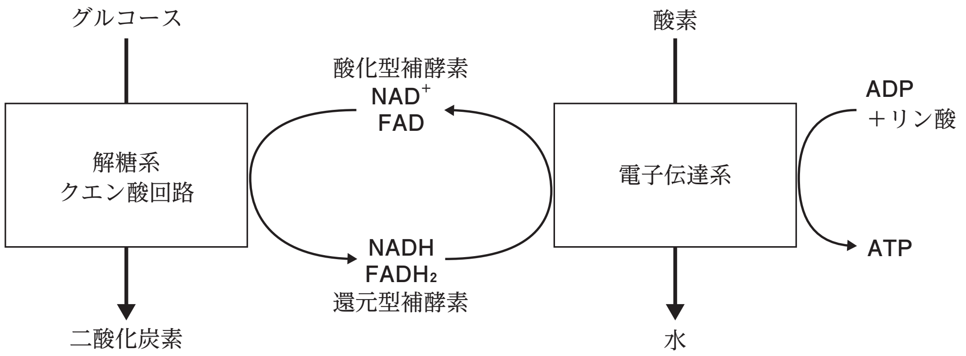
クエン酸回路では，NAD^+ が還元されて NADH が生じるだけでなく，FAD が還元されて $FADH_2$ も生じる。

Chapter3　呼吸の過程：電子伝達系

◆ 電子伝達系

解糖系とクエン酸回路で生じた還元型補酵素（NADH や $FADH_2$）が，酸素によって酸化されて酸化型補酵素（NAD^+ や FAD）に戻る過程で，多量の ATP が合成される。電子伝達系における ATP 合成は，（　　　　　　　　　　）とよばれる。

1 分子のグルコースに由来する還元型補酵素から，最大で 34 分子の ATP が生じる。



◆ 電子伝達系の詳細

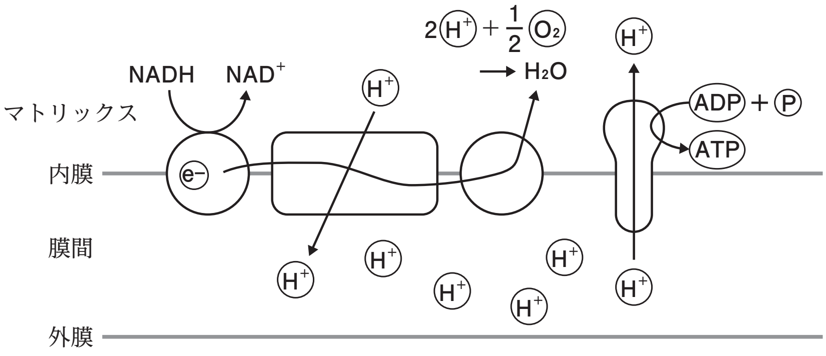
電子伝達系はミトコンドリア内膜に存在するタンパク質複合体であり，次の過程で ATP が合成される。

・還元型補酵素から放出された電子がタンパク質複合体の間を受け渡される。

・その過程で，H^+がマトリックス側から内膜と外膜の間へと能動輸送される。

・H^+が濃度勾配に応じて，（　　　　　　　　　　）を通ってマトリックス側へ戻る際に ATP が合成される。

・電子伝達系を流れた電子は，最終的に H^+と酸素と反応し，水を生じる。



まとめ

- 呼吸は，解糖系，クエン酸回路，電子伝達系の 3 段階で進む。
- 呼吸によってグルコースが二酸化炭素や水などの無機物に分解され，その過程で多量の ATP が合成される。

Chapter4　演習問題

問　呼吸とは，細胞内で酸素を用いて有機物を分解し，このときに放出されるエネルギーを利用して生命活動に必要な ATP を合成するしくみのことである。たとえば，グルコースは呼吸によって，最終的に二酸化炭素と（　ア　）にまで分解される。呼吸は，多数の化学反応で構成される複雑な過程である。真核生物の呼吸は，(a)解糖系，クエン酸回路，電子伝達系の３つの過程に大きく分けられる。

　グルコースが呼吸基質の場合，解糖系でまず１分子のグルコースが２分子のピルビン酸に分解される。ピルビン酸がミトコンドリアのマトリックスに取り込まれてクエン酸回路に入ると，炭素が１つ取り除かれ，残りがアセチル基としてコエンザイム A（CoA）に結合してアセチル CoA となる。アセチル CoA がクエン酸回路の回路反応に取り込まれると，そのアセチル基が（　イ　）と結合して，クエン酸が合成される。クエン酸は，何段階もの反応を経て（　イ　）へ戻る。これらの反応から生じた水素は，(b)補酵素によってミトコンドリア内膜へ運ばれ，H^+と電子に分かれ，その電子は電子伝達系へと渡される。(c)電子伝達系は，受け取った電子がもつエネルギーを利用して H^+ を特定の方向に輸送し，その結果，内膜を挟んだ H^+の濃度勾配が形成され，それを利用して ATP が合成される。この ATP 合成反応は，補酵素の酸化で放出されるエネルギーが利用されていることから，特に（　ウ　）とよばれる。

⑴　文中の（　ア　）～（　ウ　）に入る適切な語句を答えよ。

⑵　下線部(a)に関して，二酸化炭素が生成される呼吸の過程あるいはその組み合わせとして正しいものを，次の①～⑥から１つ選べ。

① 解糖系の過程のみ　　② クエン酸回路の過程のみ
③ 電子伝達系の過程のみ　　④ 解糖系とクエン酸回路の過程
⑤ 解糖系と電子伝達系の過程　　⑥ クエン酸回路と電子伝達系の過程

⑶　下線部(b)に関して，解糖系とクエン酸回路で共通して利用される酸化型補酵素は何か。

⑷　下線部(c)に関して，H^+はミトコンドリア内のどこからどこへ輸送されるのか答えよ。

< Note >

第7講　PART3　確認問題

問１　酸素を利用する呼吸は解糖系，（　ア　），電子伝達系の３つの過程に分かれる。このうち，解糖系の反応は（　イ　）で進み，（　ア　）と電子伝達系は(a)ミトコンドリアで進む。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　カルビン回路　　②　オルニチン回路
③　クエン酸回路

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　サイトゾル　　②　細胞膜
③　リボソーム　　④　核

(3)　下線部 (a) について，ミトコンドリアは二重膜で包まれているが，内膜の内側の空間を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　チラコイド　　②　グラナ
③　マトリックス　　④　クリステ

問２　解糖系で，グルコースが分解されてできる最終産物の物質名として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　クエン酸　　②　ピルビン酸
③　オキサロ酢酸　　④　コハク酸

問３　クエン酸回路で生じる反応を式で表すと，次のようになる。これについて，後の問いに答えよ。

$C_3H_4O_3 + 3H_2O + 4NAD^+ + FAD \rightarrow$
3（　ア　）$+ 4$（　イ　）$+ 4H^+ + FADH_2$
（＋（　ウ　）ATP）

⑴　文中の（　ア　）に当てはまる分子式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　CO_2　②　NADH
③　O_2　④　N_2

⑵　文中の（　イ　）に当てはまる分子式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　CO_2　②　NADH
③　O_2　④　N_2

⑶　文中の（　ウ　）に当てはまる数字として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　1　②　2
③　3　④　4

問４　呼吸の電子伝達系では，NADH や $FADH_2$ が（　ア　）と反応して NAD^+ や FAD にもどる。この過程で生じた H^+ の濃度勾配に応じて，H^+ が ATP 合成酵素を通ってマトリックス側へもどる際に(a)ATP が合成される。

⑴　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　二酸化炭素　②　酸素
③　水　④　窒素

⑵　下線部⒜について，呼吸の電子伝達系における ATP 合成を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　能動輸送　②　受動輸送
③　光リン酸化　④　酸化的リン酸化

第７講　代謝

PART1　代謝とエネルギー

問１　(ア) ①　(イ) ④　(ウ) ③　(エ) ①　(オ) ②

問２　④

PART2　異化-発酵

(1)　(ア) ④　(イ) ①　(ウ) ⑤　(エ) ⑥

(2)　酵母：アルコール発酵　乳酸菌：乳酸発酵

PART3　異化-呼吸

(1)　(ア) 水　(イ) オキサロ酢酸　(ウ) 酸化的リン酸化

(2)　②

(3)　NAD^+

(4)　マトリックスから，内膜と外膜の間に運ばれる。

PART4　さまざまな呼吸基質

(1)　(ア) ピルビン酸　(イ) NADH　(ウ) $FADH_2$
(エ) 電子伝達系　(オ) グリセリン
(カ) 脂肪酸　(キ) 尿素　（イ・ウ・オ・カ順不同）

(2)　(あ) 6　(い) 6　(う) 6　(え) 163　(お) 114

PART5　光合成と光合成色素

問１　[1]：③　[2]：③　[3]：④

問２　A：クロロフィルｂ　B：カロテン　C：クロロフィルａ

PART6　光合成のしくみ

⑴　㈀ 光合成色素　㈁ 水　㈂ 酸素　㈃ ATP 合成酵素
　　㈄ ルビスコ　㈅ カルビン回路

⑵　ストロマ

⑶　ⅰ：5　ⅱ：3

PART7　さまざまな炭酸同化

問１　㈀ バクテリオクロロフィル　㈁ カルビン　㈂ 化学合成

問２　⑴ ６分子　⑵ H_2S　⑶ シアノバクテリア

問３　①，③

第 7 講　PART3　確認問題　解答

問 1

(1)　③

解説：
グルコースを基質とした呼吸は，解糖系，クエン酸回路，電子伝達系の 3 段階で進む。

(2)　①

解説：
解糖系はサイトゾルで反応が進み，クエン酸回路と電子伝達系はミトコンドリアで反応が進む。

(3)　③

解説：
ミトコンドリアの内膜の内側の空間をマトリックス，内膜がさらに内側に折れ込んだひだ状の構造をクリステという。

問 2

②

解説：
1 分子のグルコースは，サイトゾルに存在する酵素によって，2 分子のピルビン酸に分解される。その過程で ATP と還元型補酵素が生成される。

問3

(1)　①

解説：
クエン酸回路では，1 分子のピルビン酸に対して 3 分子の CO_2 が生じる。

(2)　②

解説：
クエン酸回路では，1 分子のピルビン酸に対して，4 分子の NADH が生じる。

(3)　①

解説：
クエン酸回路では，1 分子のピルビン酸に対して，1 分子の ATP が生じる。

問4

(1)　②

解説：
呼吸の電子伝達系では，還元型補酵素である NADH や $FADH_2$ が酸素によって酸化されて，酸化型補酵素である NAD^+ や FAD にもどる。

(2)　④

解説：
呼吸の電子伝達系における ATP 合成は酸化的リン酸化とよばれ, 1 分子のグルコースに由来する還元型補酵素から, 最大で 34 分子の ATP が生じる。